

Desain Rangka Mesin Cnc Router Cutting 3 Axis Untuk Meningkatkan Kekuatan Dan Kestabilan Struktur

Ata Ardi Kusuma¹, Hesti Istirlaliyah²,

¹Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ataardikusuma010@gmail.com¹, hestiisti@unpkediri.ac.id²,

Penulis Korespondens : Ata Ardi Kusuma

Abstrak—Perkembangan teknologi manufaktur mendorong penggunaan mesin Computer Numerical Control (CNC) dalam berbagai sektor industri, termasuk usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM). Namun, banyak UMKM masih menggunakan metode manual dalam proses pengukiran dan pemotongan kayu sehingga hasil produksi kurang presisi dan membutuhkan waktu pengerjaan yang lama. Penelitian ini bertujuan merancang rangka mesin CNC Router Cutting 3 Axis yang memiliki kekuatan, kekakuan, dan kestabilan struktur yang baik. Metode yang digunakan adalah pendekatan engineering design dengan pemodelan tiga dimensi menggunakan perangkat lunak desain serta analisis kekuatan struktur menggunakan Finite Element Analysis (FEA). Material utama yang digunakan adalah baja hollow ASTM A36 dengan kombinasi hollow 4×6 cm, 2×1 cm, kanal C, dan plat galvanis sebagai penutup rangka. Hasil perancangan menunjukkan bahwa desain rangka mampu menopang beban komponen mesin seperti spindle, motor penggerak, dan meja kerja dengan nilai perpindahan yang masih dalam batas aman serta faktor keamanan yang memadai. Dengan demikian, desain rangka yang dihasilkan dinilai layak digunakan sebagai dasar pengembangan mesin CNC Router Cutting 3 Axis skala kampus maupun UMKM..

Kata Kunci— CNC Router, desain rangka, ASTM A36, *Finite Element Analysis*, kekakuan struktur

Abstract— *The development of manufacturing technology encourages the use of Computer Numerical Control (CNC) machines in various industrial sectors, including micro, small, and medium enterprises (MSMEs). However, many MSMEs still use manual methods in the wood carving and cutting process so that the production results are less precise and require a long processing time. This study aims to design a 3-Axis CNC Router Cutting machine frame that has good strength, stiffness, and structural stability. The method used is an engineering design approach with three-dimensional modeling using design software and structural strength analysis using Finite Element Analysis (FEA). The main material used is ASTM A36 hollow steel with a combination of 4x6 cm, 2x1 cm hollow, C-channel, and galvanized plate as a frame cover. The design results show that the frame design is able to support the load of machine components such as spindles, drive motors, and work tables with displacement values that are still within safe limits and adequate safety factors. Thus, the resulting frame design is considered suitable for use as a basis for the development of a 3-Axis CNC Router Cutting machine on a campus scale or MSMEs.*

Keywords— CNC Router, frame design, ASTM A36, *Finite Element Analysis*, structural rigidity

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Secara umum, sistem CNC terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu unit kontrol CNC (controller), motor penggerak (servo atau stepper motor), sistem transmisi, spindle, meja kerja, serta perangkat lunak pendukung. Seluruh komponen tersebut bekerja secara terintegrasi untuk

menghasilkan proses pemesinan yang presisi dan stabil.(Memenuhi et al. 2015a) Desain secara umum adalah suatu proses perencanaan dan perancangan yang dilakukan secara sistematis untuk menghasilkan suatu bentuk, produk, atau sistem tertentu yang sesuai dengan kebutuhan dan tujuan yang telah ditetapkan. Proses desain melibatkan kegiatan pemikiran, pengolahan ide, serta pengambilan keputusan dengan mempertimbangkan aspek fungsi, estetika, keamanan, efisiensi, dan kemudahan dalam penggunaan maupun pembuatan.[1]

Dalam konteks keilmuan dan rekayasa, desain juga dapat diartikan sebagai upaya menerjemahkan kebutuhan atau permasalahan menjadi suatu solusi teknis yang diwujudkan dalam bentuk gambar, model, spesifikasi, atau rancangan kerja yang dapat direalisasikan. Dengan demikian, desain tidak hanya berfokus pada tampilan, tetapi juga pada kinerja, kekuatan, dan kebermanfaatan dari hasil yang dirancang [2]

Mesin CNC digunakan dalam berbagai proses manufaktur, seperti frais, bubut, bor, dan pemotongan material, dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Keunggulan utama mesin CNC terletak pada akurasi, konsistensi hasil, serta kemampuan memproduksi komponen dengan bentuk kompleks yang sulit dicapai menggunakan mesin konvensional.[3]

Secara umum, mesin CNC terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu unit kontrol (CNC controller), motor penggerak (servo atau stepper motor), sistem transmisi (ball screw dan linear guide), spindle, meja kerja, serta sistem pendingin dan pelumasan. Seluruh komponen tersebut bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan proses pemesinan yang efisien dan stabil.[4]

Desain rangka CNC router cutting disusun secara simetris dan presisi agar kesejajaran antar sumbu gerak (X, Y, dan Z) dapat terjaga dengan baik. Kekakuan rangka sangat berpengaruh terhadap tingkat getaran yang timbul saat spindle beroperasi. Oleh karena itu, pada beberapa bagian rangka ditambahkan penguat atau bracing untuk meningkatkan kekakuan struktur dan mengurangi deformasi.[5]

Mesin CNC sederhana dirancang untuk menggambar pola jalur Printed Circuit Board (PCB) secara otomatis menggunakan sistem kendali numerik berbasis komputer. Mesin ini bekerja pada tiga sumbu gerak (X, Y, dan Z) yang digerakkan oleh aktuator motor stepper melalui mekanisme transmisi untuk menghasilkan pergerakan yang presisi. Desain pola dibuat menggunakan perangkat lunak pada komputer (PC) dan dikonversi ke dalam G-code sebagai instruksi pengoperasian mesin. Dengan tingkat ketelitian gerak yang terkontrol, mesin CNC ini diharapkan mampu menunjang proses produksi pola PCB dengan tingkat kompleksitas tinggi serta meminimalkan ketergantungan pada operator selama proses pengerjaan.[6]

Mesin CNC digunakan secara luas dalam industri manufaktur karena mampu menghasilkan produk dengan tingkat ketelitian dan konsistensi yang tinggi. Dibandingkan dengan mesin konvensional, mesin CNC memiliki keunggulan dalam hal akurasi, efisiensi waktu, serta kemampuan memproduksi bentuk geometris yang kompleks secara berulang.[7]

Rangka mesin CNC Router Cutting 3 Axis dirancang sebagai struktur utama yang menopang seluruh komponen mekanik, meliputi sistem sumbu X, Y, dan Z, motor stepper, sistem transmisi, serta meja kerja. Rangka harus memiliki kekakuan yang tinggi untuk menjaga kestabilan mesin, meminimalkan getaran, dan memastikan ketelitian pergerakan selama proses pemotongan.[8]

Rangka CNC router cutting merupakan struktur utama yang berfungsi sebagai penopang seluruh komponen mesin, seperti sistem penggerak, meja kerja, spindle router, serta sistem kontrol. Pada CNC router cutting, rangka umumnya dibuat menggunakan material baja hollow karena memiliki kekuatan yang cukup, mudah dibentuk, serta relatif ekonomis untuk mesin skala kecil hingga menengah[9]

Mesin CNC terdiri dari berbagai jenis yang dibedakan berdasarkan fungsi dan proses pemesinannya, antara lain CNC milling untuk proses frais dengan pahat berputar, CNC turning untuk pembuatan komponen berbentuk silinder, CNC router untuk pemotongan dan pengukiran material non-logam serta logam ringan, CNC drilling untuk pembuatan lubang presisi, CNC laser cutting dan plasma cutting untuk pemotongan material menggunakan energi panas, serta CNC EDM yang bekerja dengan prinsip pelepasan listrik untuk material keras. Beragam jenis mesin CNC tersebut digunakan secara luas dalam industri manufaktur karena mampu menghasilkan produk dengan tingkat presisi, efisiensi, dan konsistensi yang tinggi[10]

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan perancangan teknik (engineering design approach) yang dipadukan dengan analisis numerik menggunakan Finite Element Analysis (FEA). Tahapan penelitian meliputi:

1. Identifikasi kebutuhan dan permasalahan desain

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui permasalahan utama pada rangka mesin CNC, seperti getaran, rendahnya kekakuan struktur, dan ketidaksejajaran antar sumbu gerak.

2. Studi literatur

Pengumpulan referensi dilakukan terkait desain rangka CNC, pemilihan material, serta metode FEA sebagai dasar teoritis perancangan.

3. Perancangan model rangka

Desain rangka dibuat dalam bentuk model tiga dimensi menggunakan perangkat lunak CAD dengan konfigurasi gantry simetris untuk menjaga kesejajaran sumbu X, Y, dan Z.

4. Pemilihan material

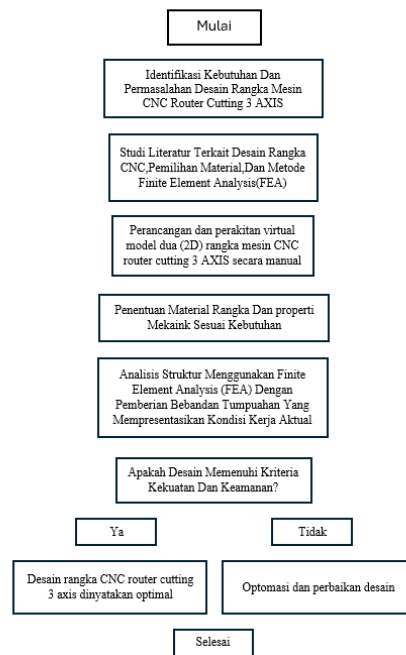
Material utama yang digunakan adalah hollow baja ASTM A36 ukuran 4×8 cm sebagai rangka utama, hollow 4×6 cm sebagai penyangga, hollow 2×1 cm sebagaiudukan komponen, kanal C untuk jalur kabel, dan plat galvanis sebagai pelindung rangka.

5. Analisis struktur dengan FEA

Model rangka diberikan kondisi batas berupa tumpuan pada kaki rangka dan beban dari spindle, motor penggerak, serta meja kerja. Analisis menghasilkan distribusi tegangan, perpindahan (displacement), dan factor of safety.

6. Evaluasi dan optimasi desain

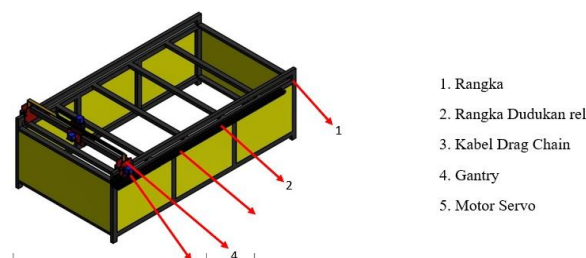
Apabila hasil analisis belum memenuhi kriteria keamanan, desain diperbaiki hingga diperoleh rangka yang optimal dan aman digunakan.



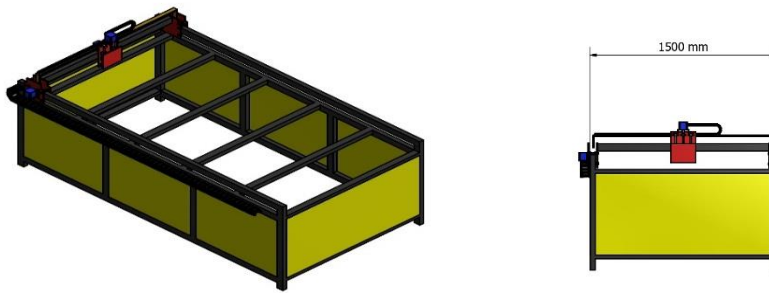
Gambar 1. Diagram Alir Perancangan

Desain rangka mesin uji tarik dirancang menggunakan material baja ASTM A36 karena memiliki sifat mekanik yang baik, mudah diperoleh, serta memiliki kemampuan las yang tinggi. Pada perancangan ini, fokus utama ditujukan pada struktur rangka sebagai komponen penopang utama yang berfungsi menopang seluruh bagian mesin selama proses pengujian berlangsung. Tahapan perancangan dilakukan secara sistematis, mulai dari pengukuran kebutuhan dimensi, pemilihan material, proses fabrikasi, pengelasan, hingga tahap finishing berupa pengecatan. Proses pengecatan dilakukan untuk meningkatkan ketahanan material terhadap korosi serta meminimalkan kerusakan yang dapat terjadi selama mesin beroperasi.

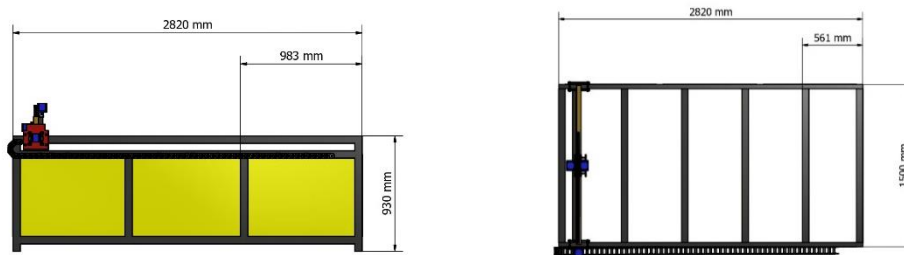
Rangka merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam suatu mesin karena berfungsi sebagai struktur utama yang menyatukan dan menopang seluruh komponen lainnya sehingga membentuk suatu sistem yang utuh. Kinerja dan keandalan mesin sangat dipengaruhi oleh kekuatan, kekakuan, dan stabilitas rangka dalam menerima beban kerja. Oleh karena itu, proses perancangan rangka harus dilakukan dengan cermat dan mempertimbangkan berbagai aspek teknis, seperti desain konstruksi, metode penyambungan, distribusi beban, serta kemampuan material dalam menahan tegangan dan deformasi.



Gambar 1. Gambar Hasil Perancangan Desain CNC



Gambar 2. Gambar Hasil Perancangan Mesin CNC



Gambar 3. Gambar Hasil Perancangan Mesin CNC

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Rangka CNC Router 3 Axis

Rangka mesin dirancang dengan konfigurasi gantry simetris untuk menjaga kestabilan gerak pada tiga sumbu. Struktur utama menggunakan hollow baja ASTM A36 yang memiliki keseimbangan antara kekuatan dan bobot. Sambungan antarbagian menggunakan metode pengelasan agar konstruksi menjadi kaku dan minim pergeseran.

Desain juga dilengkapi dengan penguat (bracing) pada beberapa bagian untuk meningkatkan kekakuan struktur dan mengurangi deformasi akibat beban dinamis selama proses pemotongan.

3.2 Pemilihan Material

Baja hollow ASTM A36 dipilih sebagai material utama karena memiliki beberapa keunggulan, yaitu:

1. Kekuatan luluh minimum sekitar 250 MPa.
2. Mudah dilas dan dibentuk.
3. Ekonomis untuk mesin skala kecil hingga menengah.
4. Mampu meredam getaran lebih baik dibandingkan material ringan tertentu.

Penggunaan hollow berongga memberikan kombinasi kekuatan dan bobot yang seimbang sehingga mesin tetap stabil namun tidak terlalu berat.

Hasil perancangan menghasilkan desain mesin CNC Router Cutting 3 Axis dengan konfigurasi gantry simetris yang bertujuan meningkatkan kestabilan struktur. Rangka dirancang

menggunakan material baja hollow ASTM A36 karena memiliki karakteristik mekanik yang baik, mudah dilas, dan ekonomis.

Table 1. Tabel Spesifikasi Cncrouter Cutting 3 AXIS

Parameter	Spesifikasi
Jenis mesin	CNC Router Cutting 3 Axis
Area kerja	1500 × 2820 mm
Daya spindle	550 Watt
Sistem kontrol	GRBL berbasis Arduino
Material rangka	ASTM A36
Motor penggerak	Stepper NEMA 23

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penggunaan rangka baja hollow ASTM A36 mampu memberikan tingkat kekakuan yang baik sehingga getaran dapat diminimalkan. Struktur yang stabil dapat meningkatkan ketelitian pergerakan sumbu X, Y, dan Z selama proses pemesinan berlangsung.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dapat disimpulkan bahwa desain rangka mesin CNC Router Cutting 3 Axis menggunakan material baja hollow ASTM A36 mampu memberikan struktur yang kuat dan stabil. Desain rangka dapat menopang komponen utama mesin serta mengurangi deformasi dan getaran yang dapat memengaruhi kualitas proses pemesinan. Hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam pengembangan mesin CNC skala kecil hingga menengah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Nusantara PGRI Kediri yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses perancangan, pengujian, dan penyusunan penelitian sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. J. Hassan, "Defining the Design Process: Methodology and Creation," *J. Des. Text.*, vol. 2, no. 1, pp. 20–35, Jul. 2023, doi: 10.32350/jdt.21.02.
- [2] D. C. Wynn and P. J. Clarkson, "Process models in design and development," *Res. Eng. Des.*, vol. 29, no. 2, pp. 161–202, Apr. 2018, doi: 10.1007/s00163-017-0262-7.
- [3] W. Tayier, "ENHANCING CNC PRECISION: A REVIEW OF GEOMETRIC ERRORS AND SIMULATION METHODS IN THREE-AXIS CNC SYSTEMS," *J. Eng. Technol. Adv.*, vol. 9, no. 1, pp. 55–74, Jul. 2024, doi: 10.35934/segi.v9i1.108.

- [4] A. Mechanics *et al.*, “Jurnal Mekanik Terapan Desain CNC Milling 3 Axis Berbasis GRBL,” vol. 06, no. 03, pp. 125–133, 2025, doi: 10.32722/jmt.v6i3.7567.
- [5] S. Arif, “ANALISA DESIGN STRUKTURAL PADA BED MACHINE MILLING CNC TERHADAP PENGARUH DEFLEKSI DENGAN ANALISA CAE,” vol. 5, no. 2, 2022.
- [6] R. Ramdani, “Rancang Bangun Mesin Cnc Router Mini 3 Axis,” vol. 2, no. 2, pp. 132–143, 2024.
- [7] A. Bahri Pratama, H. Lilih Wijayanto, and K. Widhy Wirakusuma, “SINERGI Polmed : JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN MODIFIKASI STRUKTUR RANGKA DAN BAHAN COMPUTER NUMERICALLY CONTROLLED (CNC) ROUTER MINI 3 AXIS I N F O A R T I K E L.” [Online]. Available: <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index>
- [8] R. N. Rafiq, B. T. Karmiati, M. A. Ikaningsih, and L. Nurdini, “Perancangan Rangka Mesin CNC Router Sebagai Alat Penunjang dalam Pembuatan Pola Cetakan pada Pengecoran Logam Skala Laboratorium,” vol. 14, no. 1, 2026.
- [9] T. Keckstein, “IMECE2016-65613,” pp. 1–9, 2016.
- [10] E. Kurniawan and B. Jekky, “Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis,” vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2020.